

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОХОДОВ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Аннотация

В докладе проанализированы условия, способствующие нарушению аэродинамического режима при проектировании и эксплуатации газоходов систем очистки газов металлургических печей, а также накоплению пылевых частиц на стенках газохода в результате неправильной эксплуатации. Приведены зависимости, связывающие основные параметры газа, а именно расход, скорость движения, напор с геометрическими параметрами газохода, на основании которых, с помощью языка программирования MatLab, определен оптимальный скоростной режим, касающийся горизонтальных участков газохода, расположенных между технологическим агрегатом и аппаратом грубой очистки.

Ключевые слова: газоход, гидравлический удар, накопление пылевых частиц, местные сопротивления, задача проектирования и эксплуатации.

Abstract

The report analyzes the conditions that contribute to the disruption of the aerodynamic regime in the design and operation of gas pipelines. Also, conditions were analyzed that contribute to the accumulation of dust particles on the walls of the flue as a result of improper operation. Dependences are given that relate the flow rate, the speed of movement, the pressure of the gas with the geometrical parameters of the gas pipeline. On the basis of these dependencies, an optimum speed regime is determined for the horizontal sections located between the process unit and the coarse apparatus.

Key words: gas pipeline, hydraulic shock, dust accumulation, local resistance, design and operation problem.

Вклад металлургии в загрязнение атмосферного воздуха по данным Федеральной службы государственной статистики «Росстата» составляет 22,04 % от общего количества стационарных источников загрязнения и по данным за 2016 год составляет 3824,1 тыс. тонн [1]. Технологические и аспирационные газы уносятся из металлургических агрегатов пыль, содержащую цветные металлы. Всего за 2016 год в атмосферный воздух было выброшено 1723,9 тыс. тонн твердых веществ, из которых около 400 тыс. тонн приходится на долю металлургической промышленности. Установка систем очистки технологических газов на металлургических печах позволяет существенно снижать воздействие этой отрасли промышленности на окружающую среду. При этом на эффективность очистки газов в системах пылеулавливания существенное влияние оказывают грамотные проектные решения и правильная эксплуатация. Неправильная эксплуатация систем очистки газов может привести к резкому повышению выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Одним из примеров нарушения работы систем очистки газов является сбой в работе аппаратов при возникновении гидравлического удара. Гидравлический удар является, например, следствием накопления пылевых частиц на горизонтальных участках газохода.

В газоходе систем очистки газов металлургических печей выделение пылевых частиц и их осаждение на стенках происходит в основном за счет гравитационных сил. Причем это явление наблюдается чаще всего на участках, расположенных между технологическим агрегатом и аппаратом первой ступени очистки, когда в газовом потоке еще присутствуют частицы пыли размера 100 мкм и более. Кроме того, при нарушении условий эксплуатации или изменении температурно-влажностного режима при аварийных ситуациях создаются условия, способствующие налипанию частиц пыли на стенках газохода и последующее их накопление. Накопление пылевых частиц приводит к «отрыву» потока от стенок и возникновению за преградой особой «водоворотной» зоны с резко выраженным неупорядоченным характером течения газового потока (рис. 1).

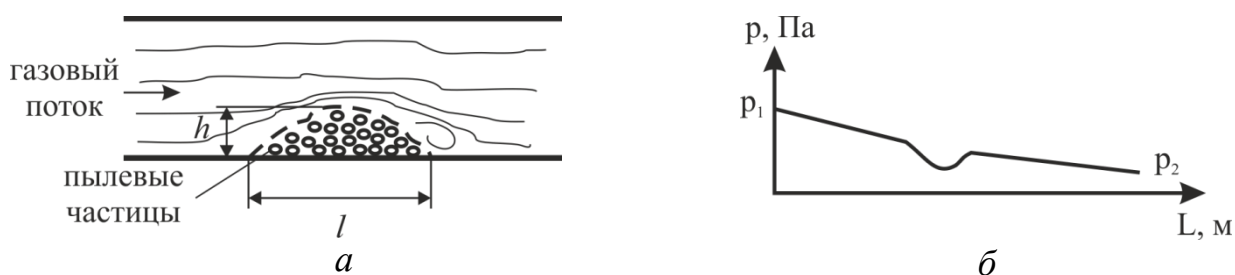


Рис. 1. Налипание пылевых частиц на стенках газохода:

a – характер движение газового потока, *б* – характер изменения напора (*p*) по длине газохода (*L*)

Направление движения отдельных газовых струй в этой зоне различно (вплоть до обратного в отдельных точках), а скорости изменяются по величине. Пульсации скоростей весьма интенсивны, а зоны обмениваются веществом с основным потоком. Затраты энергии на дополнительную турбулизацию в водоворотной зоне обуславливают потерю давления на участке *l* от преграды до некоторого сечения, ограничивающего протяженность этой зоны (обычно *l* не более чем на порядок превышает высоту препятствия *h*). Такие потери напора можно считать местными сопротивлениями.

Существует два основных подхода к определению местных сопротивлений при взаимодействии потока газа с препятствием. Согласно первому подходу данное местное сопротивление полностью турбулизует поток. Это позволяет считать местное сопротивление пропорциональным скоростному напору

$$h_m = \xi \frac{\omega^2}{2g}, \text{ Па}, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; ω – скорость газового потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Достоинство такого подхода – простота, связанная с тем, что в этом случае коэффициент местного сопротивления не зависит от величины критерия Рейнольдса (*Re*).

Второй подход учитывает влияние *Re* на местное сопротивление, который отражен в коэффициенте гидравлического сопротивления [3]

$$h_m = \lambda_r \frac{l_e}{d} \frac{\omega^2}{2g}, \text{ Па,} \quad (2)$$

где λ_r – коэффициент гидравлического сопротивления; l_e – эквивалентная длина, м.

Однако, в силу значительной турбулизации потока при взаимодействии с препятствием, в действительности влияние Re на h_m существенно слабее, чем это следует из формул $\lambda_r = f(Re)$, поэтому на практике чаще всего отдают предпочтение первому способу выражения местных сопротивлений через коэффициент местного сопротивления, который в большинстве случаев определен экспериментально и не приводит к большой погрешности в расчетах.

На практике приходится сталкиваться с решением задач либо проектирования, либо эксплуатации. Задача эксплуатации – это определение эксплуатационных характеристик готового газопровода с известными геометрическими и конструктивными параметрами, а также с определенными граничными условиями. А задача проектирования – это определение геометрических характеристик (диаметра) либо конечных (начальных) параметров (напора, давления и т.д.) при заданной скорости течения газа или его расходе.

Если в расчете газопровода искомую величину удастся выразить в явном виде, то решается прямая задача, а если искомая величина остается в обеих частях уравнения, тогда решается обратная задача с помощью итерационного метода. При расчете газопровода необходимо установить связь между следующими величинами: расходом газа (объемным V , м³/с или массовым G , кг/с), располагаемым напором ΔH (Па), плотностью газа ρ (кг/м³), динамической вязкостью газа μ (Па·с), Re, λ_r , ξ . Уравнений связи четыре:

$$\Delta H = \lambda_r \frac{L}{d} + \xi \frac{\omega^2}{2g}, \quad (3)$$

$$V = \omega \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4)$$

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}, \quad (5)$$

$$\lambda_r = f(Re), \quad (6)$$

причем ρ и μ известны, тогда зависимость переменных при решении проектных и эксплуатационных задач можно представить в виде таблицы.

Таблица

Зависимости между переменными при решении прямых и обратных задач

№	Заданные параметры	Определяемые параметры	Вид задачи	Характеристика решения
1	d и ω	ΔH и V	Прямая задача	Прямое определение Re, по нему λ_r и т.д.
2	d и V	ΔH и ω		
3	V и ω	ΔH и d		
4	ΔH и d	V и ω	Обратная задача	Определение Re и λ_r требует итерационных процедур
5	ΔH и V	d и ω		
6	ΔH и ω	d и V		

Алгоритм решения прямой задачи прост, например, «известно V и $d \rightarrow \omega$ по формуле (4) $\rightarrow Re$ по формуле (5) $\rightarrow \lambda_r$ или $\xi \rightarrow \Delta H$ по формуле (3)». По-иному решаются обратные задачи. Рассмотрим их решение на примере эксплуатационной задачи 4. Скорость газа в газоходе можно выразить из уравнения (3).

$$\omega = \sqrt{\frac{2g\Delta H}{\lambda_r \frac{L}{d} + \xi}}. \quad (7)$$

Это выражение в скрытой форме содержит ω и в правой части уравнения, то есть λ_r зависит от Re , а в Re входит пока еще неизвестная скорость ω . Поэтому для определения ω по формуле (7) следует применить итерационную процедуру по следующему алгоритму

$$\text{Задались } \omega \rightarrow Re \rightarrow \lambda_r, \xi \rightarrow \omega'. \quad (8)$$

При сопоставлении полученного ω' и заданного ω принимается решение, является ли их расхождение приемлемым с точки зрения точности расчета. Если да, то расчет считается законченным, если нет, то в качестве исходной скорости берется теперь значение ω' и процедура повторяется до тех пор, пока получаемое значение скорости с заданной точностью не совпадет с исходным значением для последней итерационной процедуры. Данные задачи могут быть легко решены с помощью компьютерных программ.

При проектировании газоходов систем очистки газов технологического агрегата заданной производительности известным параметром является расход газа, а скорость следует подбирать исходя из условий, препятствующих налипанию пылевых частиц на стенки газохода, это порядка 20–30 м/с в зависимости от вязкости, плотности, влагосодержания и запыленности газа, а также плотности пылевых частиц [4-6]. Налипание частиц приводит к постепенному повышению коэффициента местного сопротивления, располагаемого напора, давления газа перед препятствием и скорости газового потока в месте сужения. Накопление пылевых частиц будет происходить до определенной критической скорости (рис. 2), пока не произойдет отрыв накопленных пылевых частиц от стенки газохода и их унос в пылеулавливающий аппарат. В этом случае, даже правильно поставленные и решенные задачи проектирования дадут сбой, произойдет резкое изменение параметров, следствием которого будет снижение эффективности работы пылеулавливающих аппаратов, вплоть до нуля.

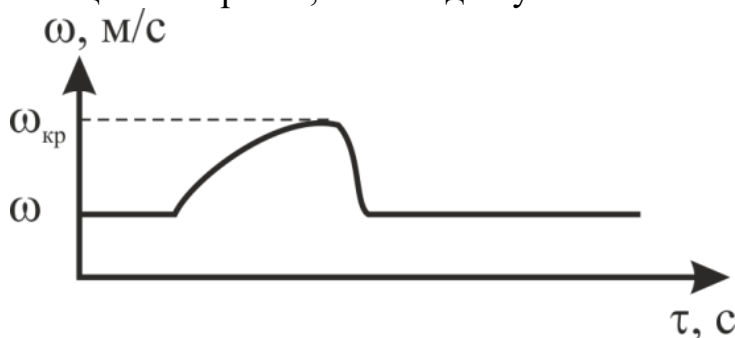


Рис. 2. Изменение скорости движения газового потока при накоплении пылевых частиц на стенках газохода при продолжительности работы, равное τ

На основании вышеизложенного были выполнены расчеты эффективности работы пылеосадительной камеры, установленной после участка, в котором происходило накопление пылевых частиц на стенках в результате неправильной эксплуатации. Численные расчеты были выполнены с помощью высокоуровневого языка программирования MatLab, позволяющего создавать модели и визуализировать результаты.

Для расчета были взяты отходящие газы барабанной вращающейся печи вельцевания цинковых кеков со следующими параметрами: расход газа – 10000 м³/ч; запыленность – 100 г/м³; плотность пыли 4100 кг/м³; температура – 550–600 °С; химический состав газа, %: N₂ – 75; CO₂ – 12; O₂ – 3; SO₂ – 0,5, H₂O – 10; химический состав вельц-возгонов (пыли), %: Zn – 50–55; РЬ – 2,5–3; Cd – 0,1–0,13, Cu – 0,4–0,5 и др.; фракционный состав пыли, %: < 20 мкм – 10; 20–50 мкм – 25; 50 – 100 мкм – 20; > 100 мкм – 45. Для определения скорости газового потока, при которой начинает накапливаться пыль на стенках, были проанализированы три скоростных режима: $\omega_1 = 15$ м/с, $\omega_2 = 18$ м/с и $\omega_3 = 25$ м/с. Расчеты, произведенные с использованием вышеприведенных зависимостей, показали, что накопление пылевых частиц на стенках газохода горизонтальных участков начинается при скорости газа менее 20 м/с (рис. 3). При этом в момент гидравлического удара (режим I) наблюдается резкое снижение эффективности пылевой камеры с 60 % до 10 %. Результатом чего является существенное увеличение выброса частиц, содержащих тяжелые металлы в окружающую среду.

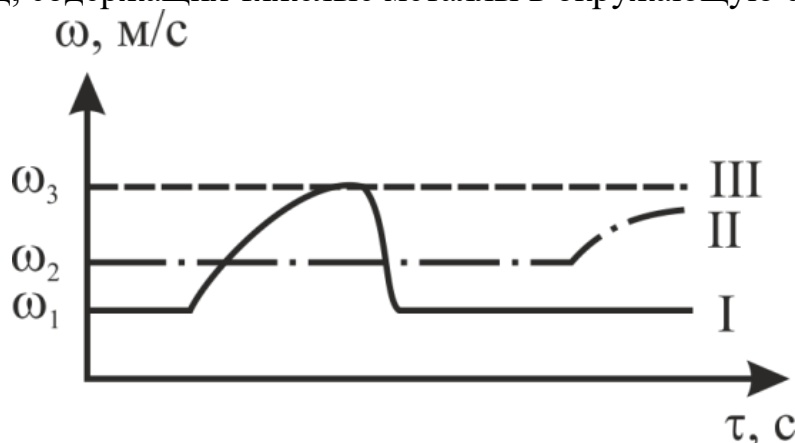


Рис. 3. Изменение скорости движения газового потока при различных скоростных режимах

Итак, для проектирования и правильной эксплуатации систем очистки газов металлургических печей необходимым условием является грамотно подобранный скоростной режим газового потока, который особенно касается горизонтальных участков газохода, расположенных непосредственно после технологического агрегата, когда в газе присутствует значительное количество крупнодисперсных пылевых частиц. По расчетным данным оптимальная скорость движения газового потока печей вельцевания, при которой не происходит налипания пыли на стенки газохода составляет 20 м/с. Однако для газов с отличным от примера влагосодержанием, содержащих пылевые частицы с несколько другими свойствами, эта скорость может варьироваться в пределах 18–25 м/с.

Список использованных источников

1. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Охрана окружающей среды. Охрана атмосферного воздуха. [Электронный ресурс]. – Дата обращения (08.02.2018) – http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/#
2. Комментарии на незадаанные вопросы или к теме митингов за закрытие завода «Электроцинк» // Актуальная тема. Приложение к газете «Рабочий Электроцинк», №10, 17.04.2012.
3. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. [и др.]. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Кн. 1, 2; под науч. ред. Айнштейна В.Г. – М.: Химия, 2000. – 1760 с.
4. Ковалев Б.К. Определение пропускной способности трубопроводов ГРС // Вестник Газпроммаша. Вып. 5. 2011. С. 64-66.
5. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы.
6. ГОСТ Р 56006-2014. Испытания и приемка на объектах магистральных газопроводов перед вводом их в эксплуатацию.

УДК 504.06

А. И. Голоднова

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Аннотация

Трансформация экологической политики, как и всей российской социально-экологической сферы являлась одним из основных направлений в государственной политике РФ. Учитывая, что всеми признавалась необходимость охраны окружающей среды, но власть, и капитал не одинаково расставляли приоритеты в своей деятельности. Охрана среды должна осуществляться, и не должна мешать экономическому развитию страны. Сложно предположить, чем закончатся эти действия руководящих структур, но можно с высокой долей вероятности предположить, что развитие методов оценки уровня экологической безопасности позволит влиять на эффективность экологического менеджмента. Необходимость государственного регулирования в области охраны окружающей среды всегда была связана с обострением проблем экологической безопасности. Анализ данных проблем всегда позволял оценивать государственных экологических программ.

Ключевые слова: экология, экологическая безопасность, эффективность, окружающая среда, политика.

Abstract

Transformation of environmental policy, as well as all Russian social-and-ecological sphere was one of the main directions in state policy of the Russian Federation. Considering that need of environmental protection was recognized as all, but the power, and the capital not equally placed priorities in the activity. Protection of the environment has to be carried out, and shouldn't interfere